

Docket No.: 50395-214

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of :
Noritaka HONMA, et al. :
Serial No.: : Group Art Unit:
Filed: July 17, 2003 : Examiner:
For: OPTICAL FIBER, OPTICAL TRANSMISSION LINE, AND OPTICAL COMMUNICATIONS
SYSTEM

**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop CPD
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

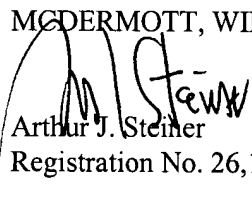
In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

Japanese Patent Application No. 2002-218449, filed July 26, 2002

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY.


Arthur J. Steiner
Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:mcw
Facsimile: (202) 756-8087
Date: July 17, 2003

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

50395-214
HONMA et al.
July 17, 2003.

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 7月26日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-218449

[ST.10/C]:

[JP2002-218449]

出 願 人

Applicant(s):

住友電気工業株式会社

2003年 6月10日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3045062

【書類名】 特許願

【整理番号】 102Y0299

【提出日】 平成14年 7月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/10

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社横浜製作所内

 【氏名】 本間 法敬

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社横浜製作所内

 【氏名】 加藤 考利

【特許出願人】

 【識別番号】 000002130

 【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100088155

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

 【識別番号】 100089978

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

 【識別番号】 100092657

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ、光伝送路および光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 波長 1 5 9 0 n m における波長分散を D （単位 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ ）とし、波長 1 5 9 0 n m における分散スロープを S （単位 $\text{ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ ）としたときに、これら波長分散 D および分散スロープ S が

$$-110 \leq D \leq -50$$

$$0.009 \leq S / D \leq 0.011$$

なる関係式を満たすことを特徴とする光ファイバ。

【請求項 2】 波長 1 5 9 0 n m における実効断面積が $12 \mu\text{m}^2$ 以上であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 3】 カットオフ波長が $1.2 \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 4】 波長 1 5 9 0 n m における伝送損失が $1.0 \text{ dB} / \text{km}$ 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 5】 波長範囲 1 5 6 5 ～ 1 6 1 0 n m における総損失が 7 dB 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 6】 光軸中心を含み第 1 の屈折率を有する中心コア領域と、この中心コア領域を取り囲み前記第 1 の屈折率より小さい第 2 の屈折率を有する第 1 クラッド領域と、この第 1 クラッド領域を取り囲み前記第 2 の屈折率より大きい第 3 の屈折率を有する第 2 クラッド領域と、この第 2 クラッド領域を取り囲み前記第 3 の屈折率より小さい第 4 の屈折率を有する第 3 クラッド領域と、を含むことを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 7】 前記第 4 の屈折率を基準としたときに、前記中心コア領域の比屈折率差 Δn_1 が 1.2% 以上であり、前記第 1 クラッド領域の比屈折率差 Δn_2 が -0.3% 以下であることを特徴とする請求項 6 記載の光ファイバ。

【請求項 8】 前記中心コア領域の直径 $2a$ と前記第 2 クラッド領域の直径 $2c$ との比 $(2a / 2c)$ が 0.20 以上であることを特徴とする請求項 6 記載の光ファイバ。

【請求項 9】 前記第 2 クラッド領域の直径の 2 % 変化に対して比 (S/D) の変化が 1 5 % 以下であることを特徴とする請求項 6 記載の光ファイバ。

【請求項 1 0】 波長 1 5 9 0 n m における波長分散が $+ 6 \sim + 1 0 \text{ p s} / \text{n m} / \text{k m}$ であり、波長 1 5 9 0 n m における分散スロープが $+ 0 . 0 7 \sim + 0 . 1 0 \text{ p s} / \text{n m}^2 / \text{k m}$ である正分散光ファイバと、
前記正分散光ファイバと接続された請求項 1 記載の光ファイバと、
を備えることを特徴とする光伝送路。

【請求項 1 1】 波長範囲 1 5 7 0 \sim 1 6 1 0 n m における全体の平均波長分散の偏差が $0 . 4 \text{ p s} / \text{n m} / \text{k m}$ 以下であることを特徴とする請求項 1 0 記載の光伝送路。

【請求項 1 2】 多波長の信号光を多重化して出力する光送信器と、
この光送信器より出力された多波長の信号光を伝送する請求項 1 0 記載の光伝送路と、
この光伝送路により伝送された多波長の信号光を受信する光受信器と、
を備えることを特徴とする光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、正分散光ファイバの波長分散および分散スロープの双方を補償することができる光ファイバ、この光ファイバと正分散光ファイバとが接続されてなる光伝送路、ならびに、この光伝送路を含む光通信システムに関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 光通信システムは、多波長の信号光を光送信器により多重化して送出し、その多波長の信号光を光伝送路により光受信器へ伝送するものであって、大容量の情報を高速に送受信することができる。従来の WDM 光通信システムでは信号光波長帯域として C バンド (1 5 3 0 \sim 1 5 6 5 n m) が用いられている。また、更なる大容量化を図

るべく、信号光波長帯域としてLバンド（1 5 6 5 ～ 1 6 2 5 n m）の使用も検討されている。

【 0 0 0 3 】

このようなWDM光通信システムで用いられる光伝送路は、高品質の信号光伝送を行う為には、信号光波長帯域において波長分散の絶対値が小さいことが望まれる。しかし、単一種類の光ファイバのみを用いて光伝送路を構成したのでは、信号光波長帯域において波長分散の絶対値を小さくすることは困難である。そこで、2種類の光ファイバを用いて光伝送路を構成することで、信号光波長帯域において光伝送路の全体の平均波長分散の絶対値を小さくすることが図られている。

【 0 0 0 4 】

例えば、信号光波長帯域としてCバンドが用いられる場合、標準的なシングルモード光ファイバと分散補償光ファイバとが接続されて光伝送路が構成される。ここで、シングルモード光ファイバは、波長1. 3 μ m付近に零分散波長を有し、波長1. 5 5 μ mにおいて1 6 p s / n m / k m程度の正の波長分散を有し、波長1. 5 5 μ mにおいて0. 0 0 6 p s / n m² / k m程度の正の分散スロープを有する正分散光ファイバである。一方、分散補償光ファイバは、波長1. 5 5 μ mにおいて、負の波長分散と負の分散スロープを有するものであって、上記シングルモード光ファイバの波長分散および分散スロープの双方を補償することができる（例えば特開平6 - 1 1 6 2 0 号公報を参照）。このようなシングルモード光ファイバと分散補償光ファイバとが接続されてなる光伝送路は、Cバンドにおいて波長分散の絶対値が小さく、高品質のWDM光通信が可能である。

【 0 0 0 5 】

また、同じく信号光波長帯域としてCバンドが用いられる場合、非零分散シフト光ファイバと分散補償光ファイバとが接続されて光伝送路が構成される場合もある。ここで、非零分散シフト光ファイバは、波長1. 3 μ mより長波長側に零分散波長がシフトしたもので、波長1. 5 5 μ mにおいて数 p s / n m / k mの正の波長分散を有し、波長1. 5 5 μ mにおいて正の分散スロープを有する正分散光ファイバである。一方、これに対する分散補償光ファイバは、波長1. 5 5

μm において、負の波長分散と負の分散スロープを有するものであって、上記分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープの双方を補償することができる（例えば米国特許第5,838,867号明細書を参照）。このような非零分散シフト光ファイバと分散補償光ファイバとが接続されてなる光伝送路は、Cバンドにおいて波長分散の絶対値が小さく、高品質のWDM光通信が可能である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記の正分散補償光ファイバ（シングルモード光ファイバまたは非零分散シフト光ファイバ）と分散補償光ファイバとが接続されてなる光伝送路は、Cバンドにおいて波長分散の絶対値が小さいものの、Lバンドにおいては波長分散の絶対値が充分には小さくなく、LバンドにおいてWDM光通信を行うには適切ではない。

【0007】

また、非零分散シフト光ファイバとして、文献1「S. Bigo, et al., ECOC'99, PD」に開示されている波長1588nmで波長分散が $+8\text{ ps/nm/km}$ であって分散スロープが $+0.06\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であるもの、文献2「D. W. Peckham, et al., ECOC'98, pp.139-140」に開示されている波長1588nmで波長分散が $+6.1\text{ ps/nm/km}$ であって分散スロープが $+0.045\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であるもの、および、国際出願WO 00/65387号公報に開示されている波長1590nmで波長分散が $+7.7\text{ ps/nm/km}$ であって分散スロープが $+0.08\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であるもの、が知られている。

【0008】

Lバンドにおいて、これらの非零分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープの双方を補償することができる分散補償光ファイバは未だ知られていない。

【0009】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、Lバンドにおいて非零分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープの双方を補償することができる光ファイバ、ならびに、この補償用の光ファイバと非零分散シフト光フ

ファイバとが接続されてなり L バンドにおいて高品質の WDM 光通信を行うことができる光伝送路および光通信システムを提供することを目的とする。

【 0 0 1 0 】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光ファイバは、波長 1 5 9 0 n m における波長分散を D （単位 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ ）とし、波長 1 5 9 0 n m における分散スロープを S （単位 $\text{ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ ）としたときに、これら波長分散 D および分散スロープ S が

$$-110 \leq D \leq -50$$

$$0.009 \leq S / D \leq 0.011$$

なる関係式を満たすことを特徴とする。この光ファイバは、L バンドにおいて非零分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープの双方を補償することができる。

【 0 0 1 1 】

本発明に係る光ファイバは、波長 1 5 9 0 n m における実効断面積が $12 \mu\text{m}^2$ 以上であるのが好適である。この場合には、非線形光学現象の発生が抑制される。

【 0 0 1 2 】

本発明に係る光ファイバは、カットオフ波長が $1.2 \mu\text{m}$ 以上であるのが好適である。この場合には、コイル状に曲げられてモジュール化された場合であっても、曲げ損失の増加が抑制される。

【 0 0 1 3 】

本発明に係る光ファイバは、波長 1 5 9 0 n m における伝送損失が $1.0 \text{ dB} / \text{km}$ 以下であるのが好適である。また、波長範囲 1 5 6 5 ～ 1 6 1 0 n m における総損失が 7 dB 以下であるのが好適である。これらの場合には、信号光の損失が小さいので、長距離伝送が可能である。

【 0 0 1 4 】

本発明に係る光ファイバは、光軸中心を含み第 1 の屈折率を有する中心コア領域と、この中心コア領域を取り囲み第 1 の屈折率より小さい第 2 の屈折率を有する第 1 クラッド領域と、この第 1 クラッド領域を取り囲み第 2 の屈折率より大き

い第3の屈折率を有する第2クラッド領域と、この第2クラッド領域を取り囲み第3の屈折率より小さい第4の屈折率を有する第3クラッド領域と、を含むのが好適である。この場合には、上述したような波長分散および分散スロープの特性を有する光ファイバが容易に実現され得る。第4の屈折率を基準としたときに、中心コア領域の比屈折率差 Δn_1 が1.2%以上であり、第1クラッド領域の比屈折率差 Δn_2 が-0.3%以下であるのが好適である。中心コア領域の直径 $2a$ と第2クラッド領域の直径 $2c$ との比 $(2a/2c)$ が0.20以上であるのが好適である。また、第2クラッド領域の直径の2%変化に対して比 (S/D) の変化が15%以下であるのが好適であり、この場合には、所望の波長分散特性を有する光ファイバが容易に製造され得る。

【0015】

本発明に係る光伝送路は、(1) 波長1590nmにおける波長分散が $+6 \sim +10 \text{ ps/nm/km}$ であり、波長1590nmにおける分散スロープが $+0.07 \sim +0.10 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ である正分散光ファイバと、(2) 正分散光ファイバと接続された上記の本発明に係る光ファイバと、を備えることを特徴とする。また、波長範囲1570～1610nmにおける全体の平均波長分散の偏差が 0.4 ps/nm/km 以下であるのが好適である。この光伝送路では、正分散光ファイバおよび本発明に係る光ファイバそれぞれの長さの比が適切に設定されることにより、Lバンドにおいて波長分散の絶対値が小さいものとなり、高品質のWDM光通信が可能となる。

【0016】

本発明に係る光通信システムは、(1) 多波長の信号光を多重化して出力する光送信器と、(2) この光送信器より出力された多波長の信号光を伝送する上記の本発明に係る光伝送路と、(3) この光伝送路により伝送された多波長の信号光を受信する光受信器と、を備えることを特徴とする。この光通信システムでは、光送信器により多重化されて出力された多波長の信号光は、上記の本発明に係る光伝送路により伝送され、光受信器に到達して受信される。

【0017】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0018】

図1は、本実施形態に係る光通信システム1および光伝送路10の構成図である。この図に示される光通信システム1は、光伝送路10、光送信器20および光受信器30を備える。光送信器20は、多波長の信号光を多重化して出力する。光伝送路10は、この光送信器20より出力された多波長の信号光を伝送する。光受信器30は、この光伝送路10により伝送された多波長の信号光を受信する。本実施形態に係る光伝送路10は、光ファイバ11と光ファイバ12とが融着接続されてなるものである。この光通信システム1では、光送信器20より送出された多波長の信号光は、初めに光ファイバ11を伝搬し、その後に光ファイバ12を伝搬して、光受信器30に到達して受信される。

【0019】

図2は、本実施形態に係る光伝送路10に含まれる光ファイバ11および光ファイバ12それぞれの波長分散特性を示す図である。この図に示されるように、波長1590nmにおいて、光ファイバ11は正の波長分散 D_1 および正の分散スロープ S_1 を有し、これに対して、光ファイバ12は負の波長分散 D_2 および負の分散スロープ S_2 を有する。好適には、光ファイバ11は、波長1590nmにおける波長分散 D_1 が $+6 \sim +10 \text{ ps/nm/km}$ であり、波長1590nmにおける分散スロープ S_1 が $+0.07 \sim +0.10 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ である。

【0020】

また、本実施形態に係る光ファイバ12は、波長1590nmにおける波長分散 D_2 （単位 ps/nm/km ）および分散スロープ S_2 （単位 $\text{ps/nm}^2/\text{km}$ ）が

$$-110 \leq D \leq -50 \quad \dots (1a)$$

$$0.009 \leq S/D \leq 0.011 \quad \dots (1b)$$

なる関係式を満たす。

【0021】

このように構成される光伝送路 1 0 および光通信システム 1 では、L バンドにおける光ファイバ 1 1 の波長分散および分散スロープの双方が光ファイバ 1 2 により補償されるので、L バンドの多波長の信号光が高品質に伝送され得る。特に、光伝送路 1 0 は、波長範囲 1 5 7 0 ~ 1 6 1 0 n m における全体の平均波長分散の偏差（＝最大値－最小値）が 0 . 4 p s / n m / k m 以下であるのが好適である。

【 0 0 2 2 】

さらに、本実施形態に係る光ファイバ 1 2 は、波長 1 5 9 0 n m における実効断面積が $12 \mu\text{m}^2$ 以上であるのが好適であり、この場合には、非線形光学現象の発生が抑制されるので、この点でも、高品質の光通信が可能である。光ファイバ 1 2 は、カットオフ波長が $1.2 \mu\text{m}$ 以上であるのが好適であり、この場合には、コイル状に曲げられてモジュール化された場合であっても、曲げ損失の増加が抑制される。光ファイバ 1 2 は、波長 1 5 9 0 n m における伝送損失が 1 . 0 d B / k m 以下であるのが好適であり、また、波長範囲 1 5 6 5 ~ 1 6 1 0 n m における総損失が 7 d B 以下であるのが好適であり、これらの場合には、信号光の損失が小さいので、長距離伝送が可能である。

【 0 0 2 3 】

図 3 は、本実施形態に係る光ファイバ 1 2 の説明図である。同図（a）は光ファイバ 1 2 の断面を示し、同図（b）は光ファイバ 1 2 の屈折率プロファイルを示す。この図に示されるように、光ファイバ 1 2 は、光軸中心から順に中心コア領域 1 2 a（最大屈折率 n_1 、外径 $2a$ ）、第 1 クラッド領域 1 2 b（屈折率 n_2 、外径 $2b$ ）、第 2 クラッド領域 1 2 c（屈折率 n_3 、外径 $2c$ ）および第 3 クラッド領域 1 2 d（屈折率 n_4 ）を含む。各領域の屈折率の大小関係は $n_1 > n_3 > n_4 > n_2$ である。

【 0 0 2 4 】

このような屈折率プロファイルを有する光ファイバ 1 2 は、石英ガラスをホスト材料として、中心コア領域 1 2 a および第 2 クラッド領域 1 2 c それぞれに適量の GeO_2 が添加され、第 1 クラッド領域 1 2 b に適量の F 元素が添加されることで、実現され得る。本実施形態に係る光ファイバ 1 2 は、このような屈折率

プロファイルを有することで、上記(1)式の特徴を有することができる。

【0025】

特に、本実施形態に係る光ファイバ12は、第3クラッド領域12dの屈折率 n_4 を基準としたときに、中心コア領域12aの比屈折率差 Δn_1 が1.2%以上であって、第1クラッド領域12bの比屈折率差 Δn_2 が-0.3%以下であるのが好適である。また、中心コア領域12aの直径2aと第2クラッド領域12cの直径2cとの比($2a/2c$)が0.20以上であるのが好適である。さらに、第2クラッド領域12cの直径2cの2%変化に対して比(S_2/D_2)の変化が15%以下であるのが好適であり、この場合には、光ファイバ12の製造が容易である。

【0026】

次に、本実施形態に係る光ファイバ12の実施例について説明する。図4は、第1～第8の実施例の光ファイバそれぞれの諸元を纏めた図表である。第1～第8の実施例の光ファイバそれぞれは、何れも、図3に示された屈折率プロファイルを有するものである。図4には、各実施例の光ファイバについて、上から順に、中心コア領域12aの比屈折率差 Δn_1 、第1クラッド領域12bの比屈折率差 Δn_2 、第2クラッド領域12cの比屈折率差 Δn_3 、比($2a/2c$)、比($2b/2c$)、第2クラッド領域12cの外径2c、波長1590nmにおける波長分散D、波長1590nmにおける分散スロープS、比(S/D)、波長1590nmにおける実効断面積、波長1590nmにおける曲げ損失(20mm ϕ 曲げ時)、波長1590nmにおける伝送損失、および、2mカットオフ波長が示されている。

【0027】

第1実施例の光ファイバは、中心コア領域12aの比屈折率差 Δn_1 が1.20%であり、第1クラッド領域12bの比屈折率差 Δn_2 が-0.50%であり、第2クラッド領域12cの比屈折率差 Δn_3 が0.50%であり、比($2a/2c$)が0.33であり、比($2b/2c$)が0.80であり、第2クラッド領域12cの外径2cが16.30 μ mであった。そして、この光ファイバは、波長分散Dが-51.151ps/nm/kmであり、分散スロープSが-0.5

$555 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であり、比 (S/D) が 0.011 であり、実効断面積が $23.831 \mu\text{m}^2$ であり、曲げ損失が 15.768 dB/m であり、伝送損失が 0.31 dB/km であり、カットオフ波長が $1.284 \mu\text{m}$ であった。

【0028】

第2実施例の光ファイバは、中心コア領域12aの比屈折率差 Δn_1 が1.40%であり、第1クラッド領域12bの比屈折率差 Δn_2 が-0.50%であり、第2クラッド領域12cの比屈折率差 Δn_3 が0.50%であり、比 $(2a/2c)$ が0.30であり、比 $(2b/2c)$ が0.80であり、第2クラッド領域12cの外径2cが $16.05 \mu\text{m}$ であった。そして、この光ファイバは、波長分散Dが -51.504 ps/nm/km であり、分散スロープSが $-0.5242 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であり、比 (S/D) が 0.010 であり、実効断面積が $20.006 \mu\text{m}^2$ であり、曲げ損失が 7.316 dB/m であり、伝送損失が 0.33 dB/km であり、カットオフ波長が $1.265 \mu\text{m}$ であった。

【0029】

第3実施例の光ファイバは、中心コア領域12aの比屈折率差 Δn_1 が1.40%であり、第1クラッド領域12bの比屈折率差 Δn_2 が-0.50%であり、第2クラッド領域12cの比屈折率差 Δn_3 が0.50%であり、比 $(2a/2c)$ が0.30であり、比 $(2b/2c)$ が0.80であり、第2クラッド領域12cの外径2cが $15.75 \mu\text{m}$ であった。そして、この光ファイバは、波長分散Dが -74.456 ps/nm/km であり、分散スロープSが $-0.8230 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であり、比 (S/D) が 0.011 であり、実効断面積が $21.335 \mu\text{m}^2$ であり、曲げ損失が 17.987 dB/m であり、伝送損失が 0.33 dB/km であり、カットオフ波長が $1.243 \mu\text{m}$ であった。

【0030】

第4実施例の光ファイバは、中心コア領域12aの比屈折率差 Δn_1 が1.60%であり、第1クラッド領域12bの比屈折率差 Δn_2 が-0.50%であり、第2クラッド領域12cの比屈折率差 Δn_3 が0.50%であり、比 $(2a/2c)$ が0.28であり、比 $(2b/2c)$ が0.80であり、第2クラッド領域12cの外径2cが $15.35 \mu\text{m}$ であった。そして、この光ファイバは、波

長分散Dが -77.262 ps/nm/km であり、分散スロープSが $-0.7844 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であり、比 (S/D) が0.010であり、実効断面積が $18.604 \mu\text{m}^2$ であり、曲げ損失が 10.541 dB/m であり、伝送損失が 0.36 dB/km であり、カットオフ波長が $1.213 \mu\text{m}$ であった。

【0031】

第5実施例の光ファイバは、中心コア領域12aの比屈折率差 Δn_1 が2.00%であり、第1クラッド領域12bの比屈折率差 Δn_2 が -0.50% であり、第2クラッド領域12cの比屈折率差 Δn_3 が 0.50% であり、比 $(2a/2c)$ が0.22であり、比 $(2b/2c)$ が0.81であり、第2クラッド領域12cの外径2cが $16.55 \mu\text{m}$ であった。そして、この光ファイバは、波長分散Dが -73.307 ps/nm/km であり、分散スロープSが $-0.7663 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であり、比 (S/D) が0.010であり、実効断面積が $14.469 \mu\text{m}^2$ であり、曲げ損失が 3.813 dB/m であり、伝送損失が 0.45 dB/km であり、カットオフ波長が $1.247 \mu\text{m}$ であった。

【0032】

第6実施例の光ファイバは、中心コア領域12aの比屈折率差 Δn_1 が2.00%であり、第1クラッド領域12bの比屈折率差 Δn_2 が -0.50% であり、第2クラッド領域12cの比屈折率差 Δn_3 が 0.50% であり、比 $(2a/2c)$ が0.24であり、比 $(2b/2c)$ が0.79であり、第2クラッド領域12cの外径2cが $15.20 \mu\text{m}$ であった。そして、この光ファイバは、波長分散Dが $-100.906 \text{ ps/nm/km}$ であり、分散スロープSが $-1.0091 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であり、比 (S/D) が0.010であり、実効断面積が $15.474 \mu\text{m}^2$ であり、曲げ損失が 5.724 dB/m であり、伝送損失が 0.45 dB/km であり、カットオフ波長が $1.253 \mu\text{m}$ であった。

【0033】

第7実施例の光ファイバは、中心コア領域12aの比屈折率差 Δn_1 が2.40%であり、第1クラッド領域12bの比屈折率差 Δn_2 が -0.50% であり、第2クラッド領域12cの比屈折率差 Δn_3 が 0.50% であり、比 $(2a/2c)$ が0.20であり、比 $(2b/2c)$ が0.80であり、第2クラッド領

域 1 2 c の外径 2 c が 1 5 . 9 0 μm であった。そして、この光ファイバは、波長分散 D が - 1 0 2 . 7 8 7 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ であり、分散スロープ S が - 1 . 0 1 8 2 $\text{ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ であり、比 (S / D) が 0 . 0 1 0 であり、実効断面積が 1 2 . 8 6 6 μm^2 であり、曲げ損失が 2 . 8 9 8 dB / m であり、伝送損失が 0 . 6 1 dB / km であり、カットオフ波長が 1 . 2 5 2 μm であった。

【 0 0 3 4 】

第 8 実施例の光ファイバは、中心コア領域 1 2 a の比屈折率差 Δn_1 が 2 . 0 0 % であり、第 1 クラッド領域 1 2 b の比屈折率差 Δn_2 が - 0 . 3 0 % であり、第 2 クラッド領域 1 2 c の比屈折率差 Δn_3 が 0 . 5 0 % であり、比 (2 a / 2 c) が 0 . 1 6 であり、比 (2 b / 2 c) が 0 . 8 6 であり、第 2 クラッド領域 1 2 c の外径 2 c が 2 0 . 4 5 μm であった。そして、この光ファイバは、波長分散 D が - 7 3 . 8 3 5 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ であり、分散スロープ S が - 0 . 7 4 2 7 $\text{ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ であり、比 (S / D) が 0 . 0 1 0 であり、実効断面積が 1 7 . 1 7 7 μm^2 であり、曲げ損失が 7 . 5 1 5 dB / m であり、伝送損失が 0 . 4 5 dB / km であり、カットオフ波長が 1 . 2 8 0 μm であった。

【 0 0 3 5 】

図 5 は、第 1 ～第 8 の実施例の光ファイバそれぞれにおいて第 2 クラッド領域 1 2 c の外径 2 c を変化させたときの波長分散 D と分散スロープ S との関係を示すグラフである。同図 (a) は第 1 ～第 4 の実施例の光ファイバそれぞれの波長分散 D と分散スロープ S との関係を示しており、同図 (b) は第 5 ～第 8 の実施例の光ファイバそれぞれの波長分散 D と分散スロープ S との関係を示している。ここでは、各実施例の光ファイバの比屈折率差 $\Delta n_1 \sim \Delta n_3$ 、比 (2 a / 2 c) および比 (2 b / 2 c) それぞれは、図 4 中に示された値に維持した。また、各実施例の光ファイバの第 2 クラッド領域 1 2 c の外径 2 c は、図 4 中に示された値を中心にして変化させた。第 2 クラッド領域 1 2 c の外径 2 c の 2 % 変化に対して、第 1 実施例の光ファイバの比 (S / D) の変化が $\pm 2 . 5 \%$ であり、第 2 実施例の光ファイバの比 (S / D) の変化が $\pm 1 1 . 5 \%$ であり、第 3 実施例の光ファイバの比 (S / D) の変化が $\pm 9 . 0 \%$ であり、第 4 実施例の光ファイバの比 (S / D) の変化が $\pm 1 0 . 0 \%$ であり、第 5 実施例の光ファイバの比 (S

／D) の変化が±50%であり、第6実施例の光ファイバの比 (S/D) の変化が±25%であり、第7実施例の光ファイバの比 (S/D) の変化が±50%であり、第8実施例の光ファイバの比 (S/D) の変化が±202%であった。第1～第4の実施例の光ファイバそれぞれは、第2クラッド領域12cの直径2cの2%変化に対して比 (S_2/D_2) の変化が15%以下であるので、所望の波長分散特性を有するものが容易に製造され得る。

【0036】

図6は、第1～第8の実施例の光ファイバそれぞれを直径140mmφでコイル状に巻いたときの曲げ損失の波長依存性を示すグラフである。同図(a)は第1～第4の実施例の光ファイバそれぞれの曲げ損失の波長依存性を示しており、同図(b)は第5～第8の実施例の光ファイバそれぞれの曲げ損失の波長依存性を示している。この図から判るように、第1～第7の実施例の光ファイバそれぞれは、波長1610nm以下の波長範囲で曲げ損失が小さいので、直径140mmφで巻かれてモジュール化された状態であってもLバンドでの使用に好適である。なお、第8実施例の光ファイバは、波長1590nm以上になると曲げ損失が急激に増加するので、モジュール化された状態ではLバンドでの使用に不適であるが、モジュール化されるのではなく中継スパンに敷設されるのであればLバンドでの使用に好適である。

【0037】

図7は、第1～第8の実施例の光ファイバそれぞれの波長分散特性を示すグラフである。同図(a)は第1～第4の実施例の光ファイバそれぞれの波長分散特性を示しており、同図(b)は第5～第8の実施例の光ファイバそれぞれの波長分散特性を示している。なお、同図(a)および(b)それぞれは、光ファイバ11として非零分散シフト光ファイバ(NZ-DSF)の波長分散特性の1例をも示している。この図に示されるように、光ファイバ11としての非零分散シフト光ファイバ(NZ-DSF)は、波長1590nmにおいて正の波長分散および正の分散スロープを有している。一方、第1～第8の実施例の光ファイバそれぞれは、波長1590nmにおいて負の波長分散および負の分散スロープを有している。

【 0 0 3 8 】

図 8 は、第 1 ～ 第 8 の実施例の光ファイバそれぞれを含む光伝送路の全体の波長分散特性を示すグラフである。同図（a）は第 1 ～ 第 4 の実施例の光ファイバそれぞれを含む光伝送路の全体の波長分散特性を示しており、同図（b）は第 5 ～ 第 8 の実施例の光ファイバそれぞれを含む光伝送路の全体の波長分散特性を示している。ここでは、図 7 に波長分散特性が示された非零分散シフト光ファイバ（NZ - DSF）を光ファイバ 1 1 として用い、この光ファイバ 1 1 の長さ 1 0 0 k m に対して、第 1 実施例の光ファイバの長さを 1 5 . 0 3 k m とし、第 2 実施例の光ファイバの長さを 1 4 . 9 3 k m とし、第 3 実施例の光ファイバの長さを 1 0 . 3 3 k m とし、第 4 実施例の光ファイバの長さを 9 . 9 5 k m とし、第 5 実施例の光ファイバの長さを 1 0 . 4 9 k m とし、第 6 実施例の光ファイバの長さを 7 . 6 2 k m とし、第 7 実施例の光ファイバの長さを 7 . 4 8 k m とし、第 8 実施例の光ファイバの長さを 1 0 . 4 1 k m とした。この図に示されるように、何れの場合にも、光伝送路は L バンドにおいて波長分散の絶対値が小さくなっている。特に、第 1 実施例の光ファイバを含む光伝送路は、波長範囲 1 5 7 0 ～ 1 6 1 0 n m における全体の平均波長分散の偏差（＝最大値－最小値）が 0 . 4 p s / n m / k m 以下であった。

【 0 0 3 9 】

また、第 4 実施例の光ファイバ（長さ 9 , 9 5 k m）を直径 1 4 0 m m ϕ でコイル状に巻いたときの総損失は、波長範囲 1 5 6 5 ～ 1 6 1 0 n m で最大 5 . 6 d B （@ 波長 1 5 6 5 n m）であった。第 5 実施例の光ファイバ（長さ 1 0 , 4 9 k m）を直径 1 4 0 m m ϕ でコイル状に巻いたときの総損失は、波長範囲 1 5 6 5 ～ 1 6 1 0 n m で最大 6 . 8 d B （@ 波長 1 5 6 5 n m）であった。

【 0 0 4 0 】

【 発 明 の 効 果 】

以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る光ファイバは、光ファイバは、L バンドにおいて非零分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープの双方を補償することができる。また、本発明に係る光伝送路および光通信システムは、L バンドにおいて高品質の WDM 光通信が可能である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本実施形態に係る光通信システム 1 および光伝送路 1 0 の構成図である。

【図 2】

本実施形態に係る光伝送路 1 0 に含まれる光ファイバ 1 1 および光ファイバ 1 2 それぞれの波長分散特性を示す図である。

【図 3】

本実施形態に係る光ファイバ 1 2 の説明図である。

【図 4】

第 1 ～第 8 の実施例の光ファイバそれぞれの諸元を纏めた図表である。

【図 5】

第 1 ～第 8 の実施例の光ファイバそれぞれにおいて第 2 クラッド領域 1 2 c の外径 2 c を変化させたときの波長分散 D と分散スロープ S との関係を示すグラフである。

【図 6】

第 1 ～第 8 の実施例の光ファイバそれぞれを直径 1 4 0 m m ϕ でコイル状に巻いたときの曲げ損失の波長依存性を示すグラフである。

【図 7】

第 1 ～第 8 の実施例の光ファイバそれぞれの波長分散特性を示すグラフである。

【図 8】

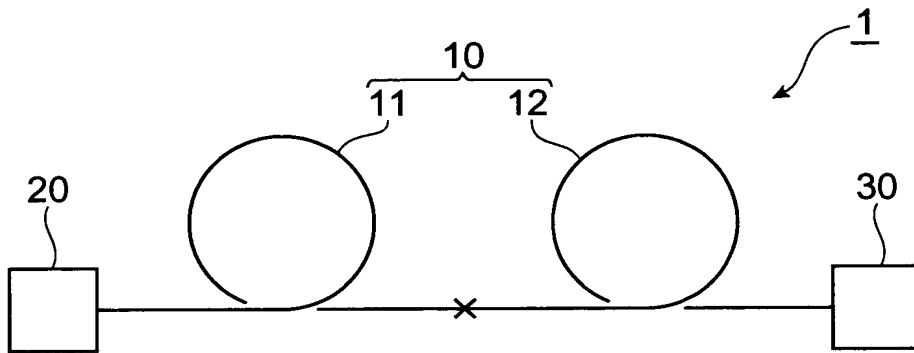
第 1 ～第 8 の実施例の光ファイバそれぞれを含む光伝送路の全体の波長分散特性を示すグラフである。

【符号の説明】

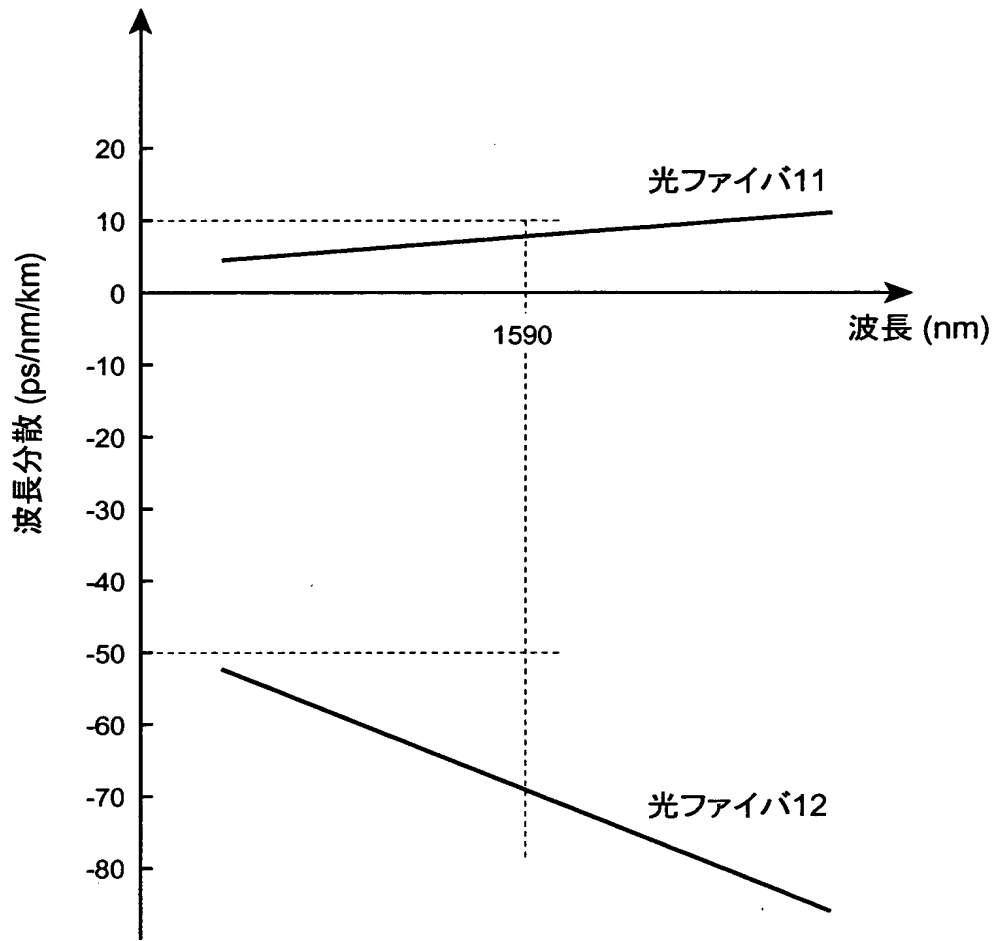
1 …光通信システム、1 0 …光伝送路、1 1 …正分散光ファイバ、1 2 …分散補償光ファイバ、2 0 …光送信器、3 0 …光受信器。

【書類名】 図面

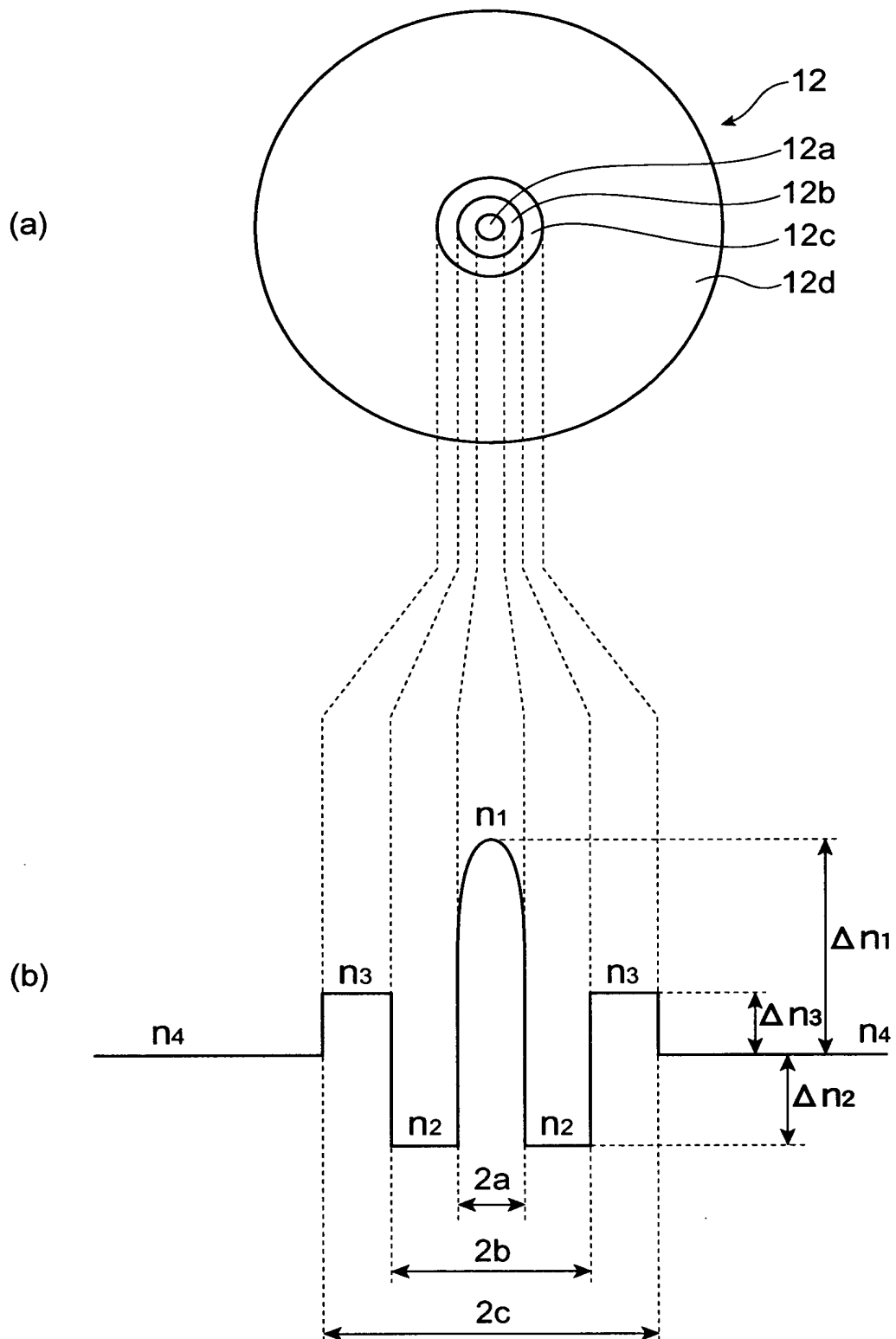
【図 1】



【図 2】



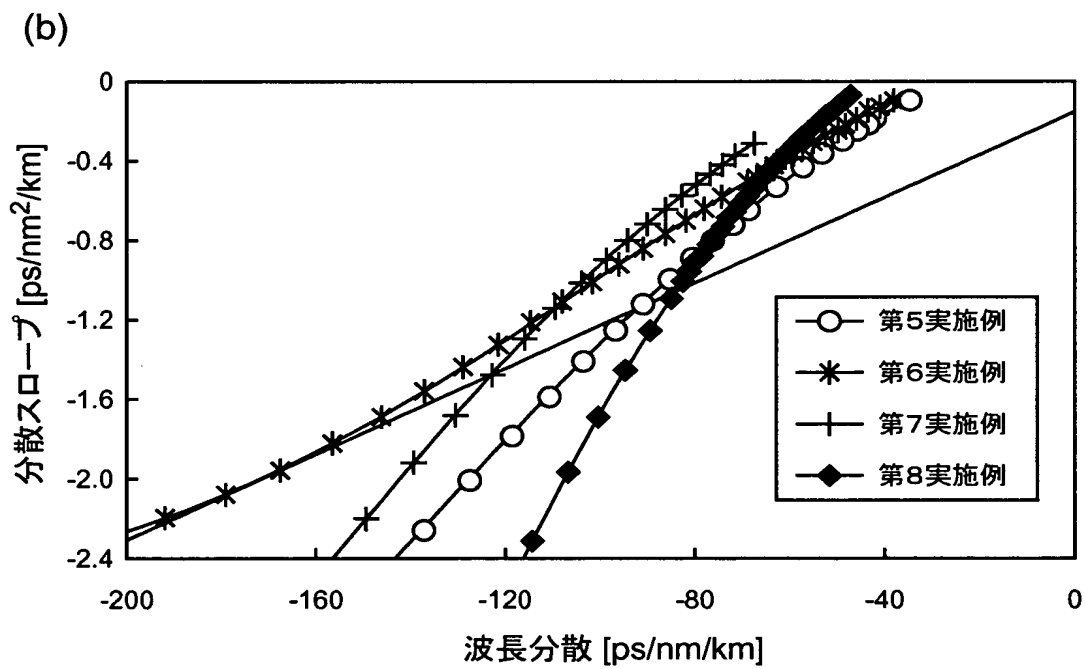
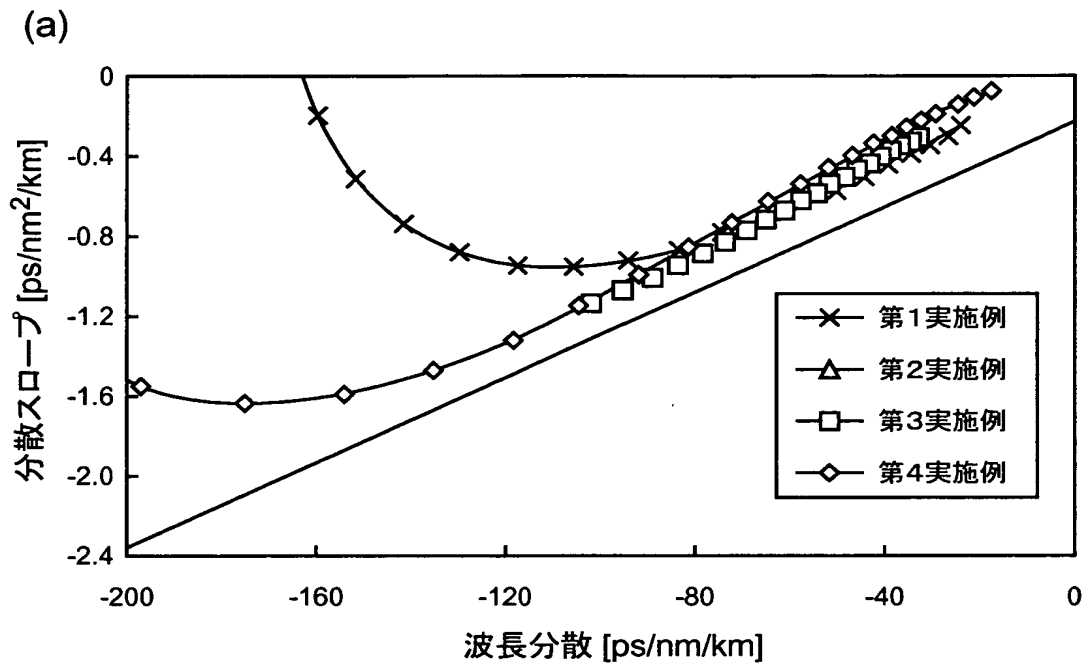
【図3】



【図 4】

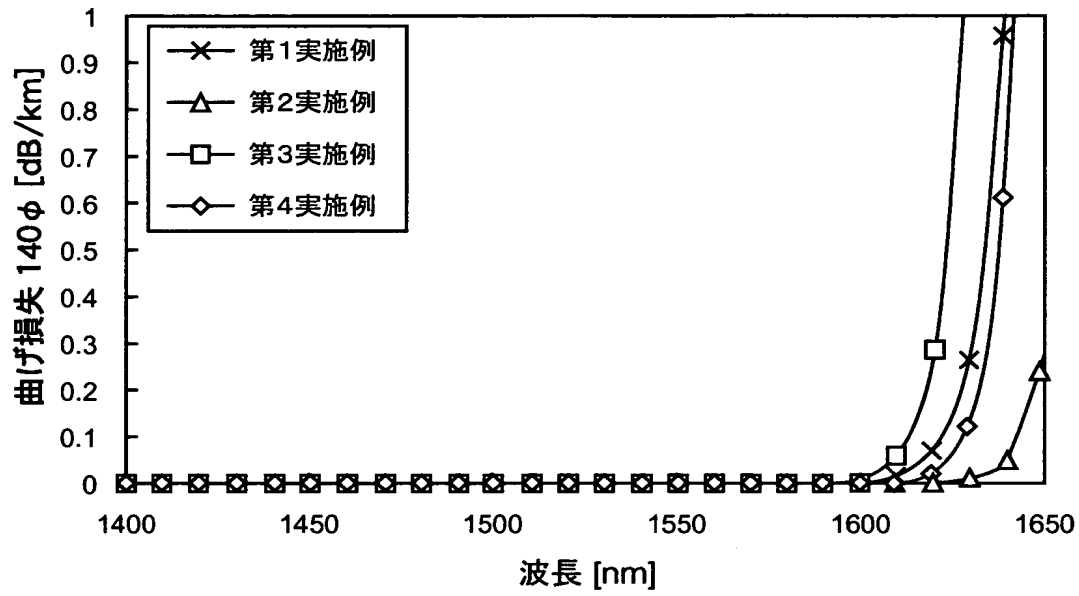
	第1実施例	第2実施例	第3実施例	第4実施例	第5実施例	第6実施例	第7実施例	第8実施例
比屈折率差 Δn_1	(%) 1.20	1.40	1.40	1.60	2.00	2.00	2.40	2.00
比屈折率差 Δn_2	(%) -0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.30
比屈折率差 Δn_3	(%) 0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
$2a/2c$	0.33	0.30	0.30	0.28	0.22	0.24	0.20	0.16
$2b/2c$	0.80	0.80	0.80	0.80	0.81	0.79	0.80	0.86
$2c$	(μm) 16.30	16.05	15.75	15.35	16.55	15.20	15.90	20.45
波長分散D	(ps/nm/km) -51.151	-51.504	-74.456	-77.262	-73.307	-100.906	-102.787	-73.835
分散スロープS	(ps/nm ² /km) -0.5555	-0.5242	-0.8230	-0.7844	-0.7663	-1.0091	-1.0182	-0.7427
S/D	(/nm) 0.011	0.010	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
実効断面積	(μm^2) 23.831	20.006	21.335	18.604	14.469	15.474	12.866	17.177
曲げ損失(20mm ϕ)	(dB/m) 15.768	7.316	17.987	10.541	3.813	5.724	2.898	7.515
伝送損失	(dB/km) 0.31	0.33	0.33	0.36	0.45	0.45	0.61	0.45
カットオフ波長	(μm) 1.284	1.265	1.243	1.213	1.247	1.253	1.252	1.280

【図 5】

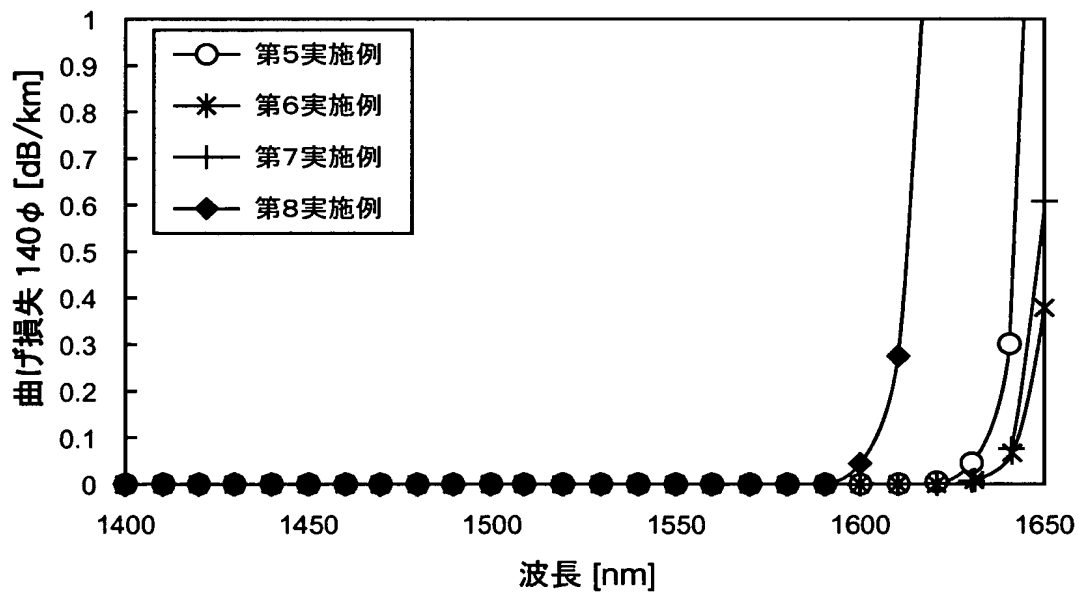


【図 6】

(a)

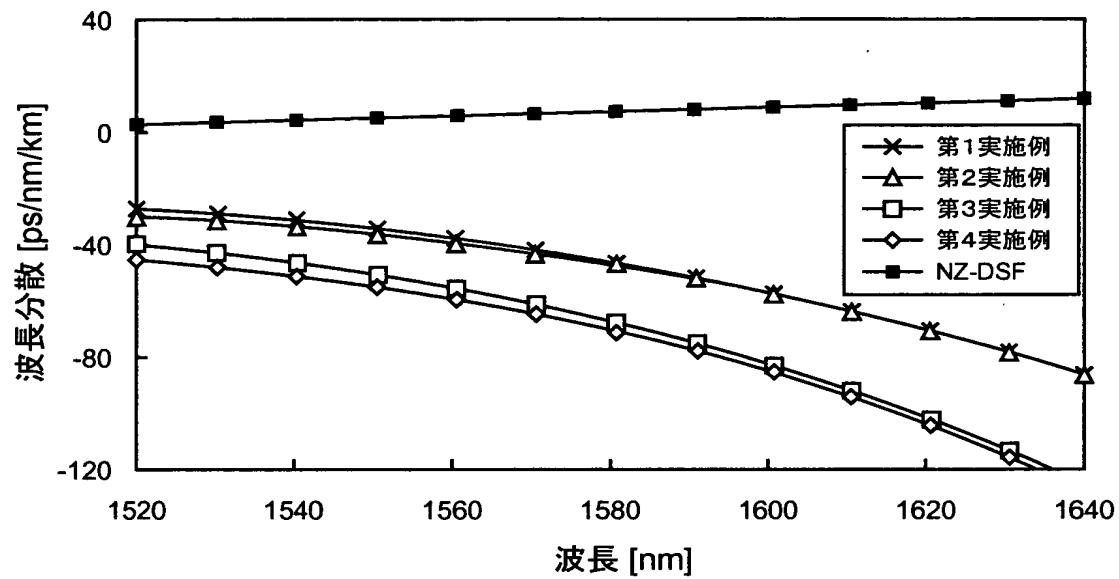


(b)

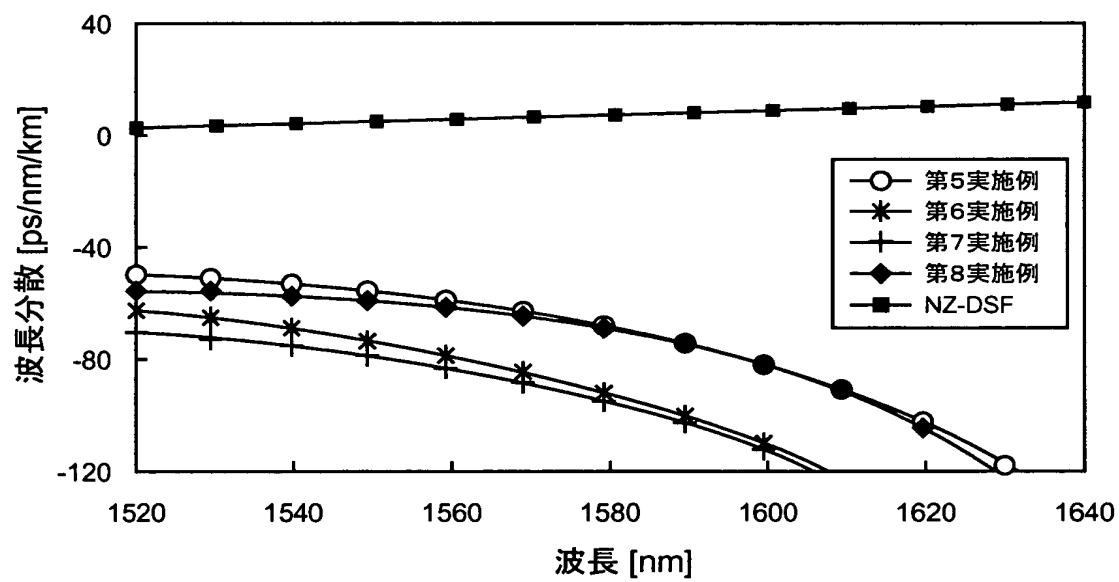


【図 7】

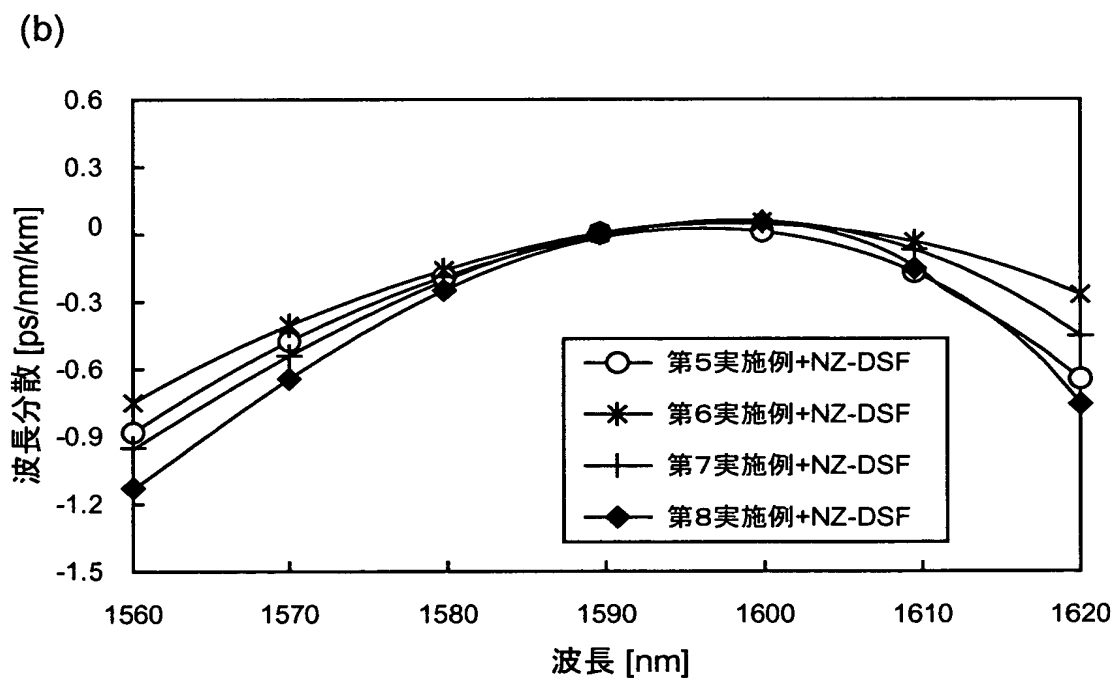
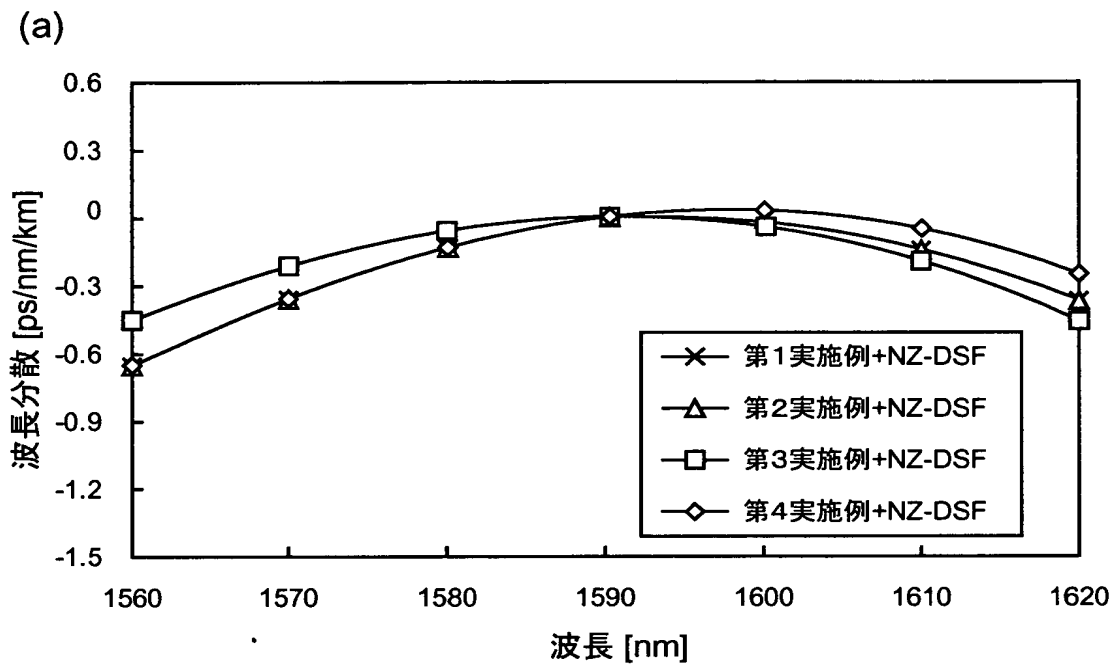
(a)



(b)



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 Lバンドにおいて非零分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープの双方を補償することができる光ファイバを提供する。

【解決手段】 光通信システム1は、光伝送路10、光送信器20および光受信器30を備える。光伝送路10は、光送信器20より出力された多波長の信号光を光受信器30へ伝送する。光伝送路10は、光ファイバ11と光ファイバ12とが融着接続されてなる。光ファイバ11は、波長1590nmにおける波長分散 D_1 が $+6 \sim +10 \text{ ps/nm/km}$ であり、波長1590nmにおける分散スロープ S_1 が $+0.07 \sim +0.10 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ である。光ファイバ12は、波長1590nmにおける波長分散 D_2 （単位 ps/nm/km ）および分散スロープ S_2 （単位 $\text{ps/nm}^2/\text{km}$ ）が「 $-110 \leq D \leq -50$ 」および「 $0.009 \leq S/D \leq 0.011$ 」なる関係式を満たす。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 2 1 3 0]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名 住友電気工業株式会社